

(19)



(11)

EP 2 055 634 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

06.05.2009 Patentblatt 2009/19

(51) Int Cl.:

B64G 1/22 (2006.01)**B64G 1/46** (2006.01)**B64G 1/66** (2006.01)(21) Anmeldenummer: **08018109.2**(22) Anmeldetag: **16.10.2008**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

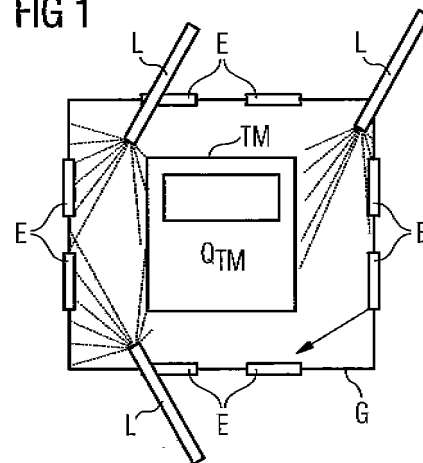
AL BA MK RS(30) Priorität: **31.10.2007 DE 102007052409**(71) Anmelder: **Astrium GmbH****81663 München (DE)**

(72) Erfinder:

- **Fichter, Walter, Dr.**
78462 Kontanz (DE)
- **Montemurro, Fabio**
75100 Matera (IT)
- **Ziegler, Tobias**
78464 Kontanz (DE)

(74) Vertreter: **Hummel, Adam**
EADS Deutschland GmbH
Patentabteilung
81663 München (DE)
(54) Verfahren und Vorrichtung zum Entladen einer frei in einem Satelliten fliegenden Testmasse

(57) Die Erfindung beschreibt ein Verfahren zum Entladen einer frei in einem Satelliten fliegenden Testmasse (TM) in einem diese umgebenden Elektrodengehäuse (G). Das von einem Vakuumbehälter umschlossene Elektrodengehäuse (G) weist eine oder mehrere erste Elektroden (E) zum Aufbringen von elektrostatischen Kräften und/oder Momenten auf die Testmasse (TM) auf. Des Weiteren umfasst das von einem Vakuumbehälter umschlossene Elektrodengehäuse (G) eine oder mehrere zweite Elektroden (E) zum Aufmodulieren von, insbesondere hochfrequenten, Wechselspannungen für Messzwecke auf die Testmasse (TM) sowie ein oder mehrere Licht emittierende Elemente (L), welche die Testmasse (TM) und/oder das Elektrodengehäuse (G) und/oder die Elektroden (E), insbesondere mit ultraviolett Licht, bestrahlen zur Erzeugung eines photoelektrischen Effekts. Automatisch und iterativ wird eine Testmassenladung (Q_{TM}) der Testmasse (TM) bestimmt. Ein Stellvorgang wird zur Beseitigung der ermittelten Testmassenladung (Q_{TM}) vorgenommen, bis die Testmassenladung (Q_{TM}) einen definierten Zielwert (ZW) erreicht hat.

FIG 1**EP 2 055 634 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Entladen einer frei in einem Satelliten fliegenden Testmasse in einem diese umgebenden Elektrodengehäuse.

[0002] Im Rahmen des sog. LISA-Programms (Laser Interferometry Space Antenna) werden im All drei Satelliten wie an den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks von 5 Mio. Kilometern Seitenlänge platziert. Jeder Satellit ist mit zwei Testmassen bzw. Testwürfeln aus einer Metalllegierung (Au/Pt) bestückt, die mittels eines sehr genau steuerbaren elektrostatischen Feldes in der Schwebe gehalten werden. Durch kosmische Strahlung laden sich die Testmassen auf bzw. werden beim Lösen einer mechanischen Haltevorrichtung zum Erreichen des frei fliegenden Zustands mit einer elektrischen Ladung versehen. Zur Vermeidung von Störkräften, welche aufgrund von Ladung in einem elektrischen Feld entsteht, die die eigentlichen Messungen negativ beeinflussen, ist sicherzustellen, dass die Testmassen entladen sind. Um die für die eigentliche Messung zur Verfügung stehende Zeit zu maximieren, sollte die Entladung möglichst schnell erfolgen.

[0003] Zur Entladung der Testmassen ist es bekannt, die Ladung der Testmasse durch Anbringung von Spannungen über sog. Stellelektroden zu schätzen, welche die Testmasse umgeben. Hierbei wird die durch die Spannungsaufbringung hervorgerufene Bewegung der Testmasse ermittelt, wobei aus Amplitude und Phase der Bewegung auf die Ladung geschlossen werden kann. Es erfolgt ein Bestrahlen der Testmasse und des die Testmasse umgebenden Gehäuses inklusive der Stellelektroden mit ultraviolettem Licht, wobei hier der photoelektrische Effekt ausgenutzt wird. Schließlich werden Gleichspannungen an die Stellelektroden angelegt, um den Ladungstransport zu unterstützen. Um die Entladung der Testmasse vorzunehmen, sind hierzu dezidierte Steuerungsbefehle von einem auf der Erde befindlichen Kontrollrechner an der Steuereinheit des Satelliten notwendig. Die Entladung erfolgt daher mehr oder wenig manuell, wodurch diese zeitaufwändig und ungenau ist.

[0004] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Entladen einer frei in einem Satelliten fliegenden Testmasse anzugeben, welche auf einfachere Weise eine präzisere Entladung der Testmasse ermöglichen.

[0005] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruches 1, ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Patentanspruches 13 sowie eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruches 14 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen.

[0006] Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zum Entladen einer frei in einem Satelliten fliegenden Testmasse in einem diese umgebenden Elektrodengehäuse weist das von einem Vakuumbehälter umschlossene Elektrodengehäuse eine oder mehrere Elektroden zum Aufbringen von elektrostatischen Kräften und/oder Momenten auf die Testmasse und eine oder mehrere zweite Elektroden zum Aufmodulieren von, insbesondere hochfrequenten, Wechselspannungen für Messzwecke auf die Testmasse auf. Mit Hilfe der aufmodulierten Wechselspannungen können die Elektroden zum Aufbringen von elektrostatischen Kräften und Momenten auch zum elektrostatischen Messen der Testmassen-Position und/oder der Testmassen-Lage verwendet werden.

[0007] Das Elektrodengehäuse umfasst ferner ein oder mehrere Licht emittierende Elemente, welche die Testmasse und/oder das Elektrodengehäuse und/oder die Elektroden, insbesondere mit ultraviolettem Licht, bestrahlen zur Erzeugung eines photoelektrischen Effekts, auf. Bei dem Verfahren wird automatisch und iterativ eine Testmassenladung der Testmasse bestimmt sowie ein Stellvorgang zur Beseitigung der ermittelten Testmassenladung vorgenommen, bis die Testmassenladung einen definierten Zielwert erreicht hat.

[0008] Durch das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich die frei in einem Satelliten fliegende Testmasse automatisch an Bord des Satelliten entladen. Die Entladung kann auf schnelle Weise zeitoptimiert erfolgen, wodurch die für die Wissenschaftsmessdauer zur Verfügung stehende Zeit erhöht wird. Das Verfahren sowie die Vorrichtung sind robust bezüglich Unsicherheiten der verwendeten Hardware-Komponenten, insbesondere der Licht emittierenden Elemente, sowie weiterer Störeffekte, wie z.B. Modulations-Spannungen, die für die elektrostatische Messung und Stellung bzw. Aktuierung der Testmasse verwendet werden. Neben dem schnellen Entladen der Testmasse weist die Erfindung den Vorteil auf, dass kein bodenseitiger Aufwand notwendig ist. Durch die Robustheit des Vorgangs der schnellen Testmassen-Entladung ist eine hohe Sicherheit und Genauigkeit gegeben.

[0009] Ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt umfasst maschinenlesbare Programmbefehle für eine Steuerungseinheit eines Datenträgers, welche diese zur Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens veranlassen. Das erfindungsgemäße Computerprogrammprodukt kann ein körperliches Medium mit gespeicherten Programmbefehlen sein, beispielsweise ein Halbleiterspeicher, eine Diskette oder eine CD-ROM. Das Computerprogrammprodukt kann auch ein nichtkörperliches Medium sein, beispielsweise ein über ein Computernetzwerk übermitteltes Signal.

[0010] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Entladen einer frei in einem Satelliten fliegenden Testmasse in einem diese umgebenden Elektrodengehäuse der vorher beschriebenen Art weist ferner Mittel zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf. Hiermit sind die gleichen Vorteile verbunden, wie sie im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erläutert wurden.

[0011] Die Erfindung wird nachfolgend näher anhand der Figuren beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Entladen einer frei in einem Satelliten fliegenden Testmasse,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung des zeitlichen Ablaufs des automatischen Entladevorgangs der Testmasse,
- Fig. 3 eine schematische Darstellung der Anordnung von Testmasse und Elektroden zur Ladungsschätzung entlang einer x-Achse in einem Koordinaten-Bezugssystem,
- Fig. 4 eine schematische Darstellung, welche die Ermittlung des Potentials zwischen einzelnen Elektroden bzw. dem Elektrodengehäuse und der Testmasse verdeutlicht,
- Fig. 5 ein Diagramm, aus dem die Entladerate in Abhängigkeit einer Potentialdifferenz der Testmasse gegenüber einer Elektrode bzw. dem Gehäuse dargestellt ist,
- Fig. 6 ein Diagramm, aus dem der Einfluss einer Injektionsspannung für Messzwecke auf die Entladerate hervorgeht,
- Fig. 7 den zeitlichen Ablauf nach dem Start des Entladevorgangs, und
- Fig. 8 eine exemplarische Darstellung, aus der die Testmassenladung über die Zeit hervorgeht, wobei eine Entladung gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren vorgenommen ist.

[0012] In der gesamten nachfolgenden Beschreibung sind in den Figuren den Bezugszeichen oftmals Indizes nachgestellt. In der Beschreibung sind diese entweder in der den Figuren entsprechenden Schreibweise oder alternativ durch einen "_", gefolgt von den Buchstaben und Ziffern des Index dargestellt. Diese beiden unterschiedlichen Schreibweisen bezeichnen die gleiche Kenngröße.

[0013] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit den wesentlichen Bauteilen, die zur Durchführung des Verfahrens zum schnellen, automatischen Entladen einer frei in einem Satelliten fliegenden Testmasse TM benötigt werden. Die Testmasse TM ist von einem Elektrodengehäuse G umgeben. Das Elektrodengehäuse G wird von einem Vakuumbehälter umschlossen, welcher in der Figur nicht dargestellt ist. An dem Elektrodengehäuse G ist eine Anzahl von Elektroden E angeordnet, wobei beispielhaft jeweils zwei Elektroden E gegenüberliegend einer jeweiligen Hauptseite der Testmasse TM angeordnet sind. Die Elektroden dienen zum elektrostatischen Messen und Stellen, d.h. dem Aufbringen von elektrostatischen Kräften und Momenten auf die Testmasse TM. Weitere Elektroden (die in Fig. 1 nicht dargestellt sind) dienen zum Aufmodulieren von hochfrequenten Wechselspannungen für Messzwecke, um Messung und Stellung zu trennen. Erstere Elektroden werden als Stellelektroden, letztere als Injektionselektroden bezeichnet. Das Aufbringen von elektrostatischen Kräften und/oder Momenten sowie von hochfrequenten Wechselspannungen für Messzwecke kann durch entsprechende Ansteuerung jeweiliger Elektroden E erfolgen. Darüber hinaus zeigt die schematische Darstellung der Fig. 1 beispielhaft drei Lampen L, welche zur Abgabe von ultraviolett Licht ausgebildet sind. Die UV-Lampen L sind derart angeordnet, dass diese auf die Testmasse bzw. auf das Gehäuse G und manche der Elektroden E strahlen.

[0014] Die Testmasse TM ist aus einer AuPt-Legierung gebildet. Sie ist frei in dem Elektrodengehäuse G, welches in einem Satelliten angeordnet ist, fliegend. Dies bedeutet, die Testmasse TM weist keinen Kontakt zu dem Elektrodengehäuse G auf, wodurch diese elektrisch geladen und isoliert ist. Das Elektrodengehäuse G umfasst die Elektroden E zum Aufbringen für das Verfahren notwendiger Spannungen. Der restliche Teil des Elektrodengehäuses G hat gegenüber den Elektroden E das Potential 0.

[0015] Auf die Stellelektroden können z.B. sinusförmige Testsignal-Spannungen aufgebracht werden. Die Spannungen werden als Stellglied verwendet. Hierdurch wird eine Schätzung der Ladung Q_{TM} der Testmasse TM (im Folgenden auch Testmassenladung) ermöglicht. Darüber hinaus können an die Stellelektroden konstante Spannungen aufgebracht werden, mit denen ein Ladungstransport unterstützt oder beschleunigt werden kann. Je nachdem, ob Elektronen aus dem Elektrodengehäuse G, den Elektroden E oder der Oberfläche der Testmasse TM emittiert werden, erfolgt ein Transport der emittierten Elektronen von dem Elektrodengehäuse G zu der Testmasse TM oder von der Testmasse TM zum dem Elektrodengehäuse G.

[0016] Neben den Stellelektroden sind die Injektionselektroden dazu vorgesehen, eine Wechselspannung mit hoher Frequenz (100 kHz) für Messzwecke aufzubringen. Mit Hilfe der aufmodulierten Wechselspannung können die Stellelektroden zum Messen von Koordinaten der Testmasse TM in einem vorgegebenen Koordinatensystem verwendet werden.

[0017] Eine elektrostatische Stellung und Messung wird über die Injektionsspannung entkoppelt und steht zu jedem Abtastschritt, der beispielsweise mit 10 Hz erfolgt, gleichzeitig zur Verfügung.

[0018] Mittels der UV-Lampen L kann ein photoelektrischer Effekt erzeugt werden. Durch den photoelektrischen Effekt

werden Elektronen aus der von den UV-Lampen beschienenen Oberfläche emittiert. Auf diese Weise kann ein, auf die Testmasse TM bezogener, Ladungsfluss $\dot{Q}_{TM}$, welcher als Entladerate bezeichnet wird, erzeugt werden. Hierbei gilt, dass UV-Lampen L, die überwiegend die Testmasse TM bestrahlen, eine positive Entladerate $\dot{Q}_{TM+}$ und UV-Lampen, die hauptsächlich auf die Elektroden bzw. das Gehäuse scheinen, eine negative Entladerate $\dot{Q}_{TM-}$ erzeugen.

[0019] Der zeitliche Ablauf eines automatisch durchgeführten Entladevorgangs der Testmasse TM ist schematisch in Fig. 2 dargestellt. Der Vorgang zur Entladung besteht hierbei aus zwei sich wiederholenden Vorgängen:

1. Bestimmung der Ladung Q_{TM} auf der Testmasse TM durch Ladungsschätzung,
2. Stellvorgang zur Beseitigung der ermittelten Testmassenladung Q_{TM} .

[0020] Hierbei sind Ladungsermittlung und Entladung der Testmasse TM zeitlich getrennt, d.h. aufeinander folgend.

[0021] Nach jedem Messintervall MI, das auch als Schätzintervall bezeichnet wird, steht die Testmassenladung $Q_{TM}(k)$, $Q_{TM}(k+1)$, ... zur Verfügung, wobei k ein erstes Messintervall, k+1 ein darauf folgendes Messintervall usw. bezeichnet. Sobald die Testmassenladung bekannt ist, kann der Stellvorgang zum Entladen der Testmasse TM vorgenommen werden, indem die Testmasse bzw. das Elektrodengehäuse G und die Elektroden E mit UV-Licht beleuchtet werden und eine entsprechende DC-Spannung angelegt wird. Beide Stellparameter sind abhängig vom ermittelten Vorzeichen der Testmassenladung Q_{TM} .

[0022] Wie aus Fig. 2 ohne Weiteres hervorgeht, wiederholen sich die Messung der Testmassenladung und der Stellvorgang zum Entladen der Testmasse TM ständig und laufen sequentiell ab. Die automatische Entladung ist beendet, sobald ein definierter Zielwert oder Stellwert für die Testmassenladung erreicht wird. Als Schwellwert kann beispielsweise eine Testmassenladung von weniger als 10^6 Einheitsladungen gewählt werden.

Ladungsmessung

[0023] Die kontaktlos durchgeführte Ermittlung der Testmassenladung erfolgt durch eine Schätzung. Dies kann mittels einer Zustandsschätzung oder einer Parameterschätzung erfolgen. Hierzu werden z.B. sinusförmige Spannungen $V(t)$ auf die Elektroden E als Testsignale so aufgebracht, dass eine Kraft bzw. ein Moment auf die Testmasse TM erzeugt wird, welche bzw. welches proportional zur vorhandenen Testmassenladung Q_{TM} ist. Beispielsweise gilt für eine so erzeugte Kraft in x-Richtung der mathematische Zusammenhang $F_x^Q = 4 \cdot \varepsilon_0 \cdot A / (c_{tot} \cdot d_x^2) \cdot Q_{TM} \cdot V(t)$. Hierbei ist A die Fläche einer Elektrode, ε_0 die Elektrizitätskonstante vom Vakuum, c_{tot} die Gesamtkapazität aller vorhandenen Plattenkondensatoren und d_x der nominelle Abstand zwischen der Testmasse TM und einer jeweiligen Elektrode EH,1, EH,2, EH,3 und EH,4. Dies ist schematisch in Fig. 3 dargestellt. Aus dieser Darstellung wird ohne Weiteres ersichtlich, dass jede der Elektroden EH,1, EH,2, EH,3 und EH,4 mit der ihr gegenüber liegenden Fläche der Testmasse TM in idealisierter Betrachtungsweise einen Plattenkondensator ausbildet, welcher eine jeweilige Kapazität aufweist.

[0024] Die durch die Kraft oder das Moment erzeugte Bewegung der Testmasse TM wird gemessen. Die Messung kann mit einem elektrostatischen Messsystem oder einem optischen Messsystem (in den Figuren nicht dargestellt) erfolgen. Aus den kommandierten Spannungen und der gemessenen Bewegung der Testmasse kann dann die Ladung der Testmasse Q_{TM} ermittelt werden. Die Schätzalgorithmen zur Ladungsbestimmung sind Daten rekursiv formuliert und verarbeiten die kommandierten Testsignale und die gemessene Position bzw. der Testmasse an Bord des Satelliten. Die Schätzung der Ladung der Testmasse ist somit sofort nach dem Messintervall an Bord des Satelliten vorhanden und verarbeitbar.

Entladung

[0025] Ist die Ladung $Q_{TM}(k)$ der Testmasse TM bekannt, kann die zur Entladung benötigte Zeit berechnet werden. Zur Berechnung der Entladezeit $t_{\text{discharge}}$ ist die Kenntnis der nominellen Entladerate $\dot{Q}_{TM_nom}$ erforderlich. Die Entladezeit berechnet sich wie folgt:

$$t_{\text{discharge}} = - \frac{Q_{TM}(k)}{\dot{Q}_{TM}^{nom}} \quad (1).$$

[0026] Die berechnete Entladezeit hängt von der Größe der Testmassenladung und der nominellen Entladerate ab. Hierbei besteht das Problem, dass die nominelle Entladerate $\dot{Q}_{TM_nom}$ nicht genau bekannt ist und nicht der realen Entladungsrate $\dot{Q}_{TM_real}$ entspricht. Darüber hinaus gilt, dass die Entladerate ohne Anbringung konstanter Beschleunigungsspannungen an die Elektroden nicht dem maximal möglichen Wert entspricht.

[0027] Hierzu werden zunächst konstante Spannungen an die Elektroden E so angelegt, dass die Entladerate maximal wird. Ferner werden Korrekturmaßnahmen zur besseren Bestimmung und Kenntnis der Entladerate durchgeführt. Schließlich erfolgt eine Adaption der Entladerate mit Hilfe von zwei aufeinander folgenden Ladungsmessungen. Dies wird nachfolgend näher beschrieben.

1. Anbringen von konstanten Spannungen an die Elektroden, so dass die Entladerate maximal wird

[0028] Die Entladerate hängt von der Potentialdifferenz zwischen der Testmassen TM und den Elektroden E bzw. dem Elektrodengehäuse G ab. Jede der Elektroden E und das Elektrodengehäuse G bilden einen Plattenkondensator mit der gegenüberliegenden Testmassenfläche, wie dies exemplarisch in Fig. 4 dargestellt ist. Zwei der dargestellten Elektroden E sind mit EH,1 und EH,2 gekennzeichnet. Diese weisen jeweils ein Potential $V_{EH,1}$ bzw. $V_{EH,2}$ auf. Die Testmasse TM weist ein Potential V_{TM} auf, so dass sich hieraus eine Potentialdifferenz $V_1 = V_{EH,1} - V_{TM}$ bzw. $V_2 = V_{EH,2} - V_{TM}$ ergibt. In entsprechender Weise ermittelt sich die Potentialdifferenz auch für die weiteren in Fig. 1 dargestellten Elektroden E relativ zu der Testmasse TM.

[0029] Für die hier beschriebene Vorrichtung gibt es insgesamt 14 Plattenkondensatoren, wobei vier durch die in Fig. 1 gezeigten Elektroden E und die korrespondierenden Flächen der Testmasse TM und eine weitere durch die zusammengefassten restlichen Flächen des gesamten Elektrodengehäuses G und die entsprechenden Flächen der Testmasse TM gebildet sind. Für jeden der Plattenkondensatoren kann damit eine Potentialdifferenz V_n angegeben werden, wobei $n=1$ bis 14 ist.

[0030] Für jede der Elektroden E und für das Elektrodengehäuse G und damit für die insgesamt 14 Plattenkondensatoren existiert eine Kennlinie, welche die Entladungsrate in Abhängigkeit der jeweiligen Potentialdifferenz V_n darstellt. Dies ist exemplarisch in Fig. 5 dargestellt. Die Potentialdifferenz der einzelnen Elektroden bzw. dem Gehäuse gegenüber der Testmasse TM ist $V_n = V_{EH,n} - V_{TM}$. Hierbei stellt V_{TM} das Potential der Testmasse TM und $V_{EH,n}$ das Potential der entsprechenden Elektrode bzw. der zusammengefassten Gehäuseseiten des gesamten Gehäuses dar. Für jede Potentialdifferenz V_n existiert ein Schwellwert V_T , bei dessen Überschreitung keine weitere Erhöhung der Entladerate

$\dot{Q}_{TM,n}^{nom}$ erreicht werden kann.

[0031] Die gesamte Entladerate $\dot{Q}_{TM}^{nom}$ für die Testmasse TM ergibt sich aus der Summe der einzelnen Entladeraten

$\dot{Q}_{TM,n}^{nom}$ für $n=1$ bis 14:

$$\dot{Q}_{TM}^{nom} = \sum_{n=1}^{14} \dot{Q}_{TM,n}^{nom} \quad (2).$$

[0032] Die Entladerate $\dot{Q}_{TM}^{nom}$ soll den maximal möglichen Wert erreichen. Dies bedeutet, man muss sich auf der in Fig. 5 gezeigten Kennlinie jenseits der Schwellwerte $-V_T$ bzw. V_T befinden, in Abhängigkeit davon, ob eine positive oder eine negative Entladerate benötigt wird. Aus diesem Grund werden auf ausgewählten Stellelektroden konstante Spannungen $V_{DC,i}$ aufgebracht, so dass folgende Beziehungen erfüllt sind.

[0033] Für den Fall einer positiv geladenen Testmasse TM wird ein negatives $\dot{Q}_{TM,n}^{nom}$ benötigt, daher gilt:

$$V_n \leq -V_T \quad (3).$$

[0034] Für den Fall einer negativ geladenen Testmasse wird ein positives $\dot{Q}_{TM,n}^{nom}$ benötigt, daher gilt:

$$V_n \geq V_T \quad (4).$$

[0035] Aufgrund der Beziehung für die Potentialdifferenzen in Abhängigkeit des Potentials der Stellelektroden können die Gleichungen (3) und (4) nicht für alle 14 der Kondensatoren erfüllt werden. Es können nämlich nur auf die Stellelektroden konstante Spannungen $V_{DC,i}$ aufgebracht werden, jedoch nicht auf das Gehäuse und auf Injektionselektroden. Diese Tatsache drückt sich in Gleichung (5) aus:

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_{12} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1-c_1 & -c_2 & \cdots & -c_{12} \\ -c_1 & 1-c_2 & \cdots & -c_{12} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ -c_1 & -c_2 & \cdots & 1-c_{12} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} V_{EH,1} \\ V_{EH,2} \\ \vdots \\ V_{EH,12} \end{pmatrix} \approx \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} V_{EH,1} \\ V_{EH,2} \\ \vdots \\ V_{EH,12} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} V_{13} \\ V_{14} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} -c_1 & -c_2 & \cdots & -c_{12} \\ -c_1 & -c_2 & \cdots & -c_{12} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} V_{EH,1} \\ V_{EH,2} \\ \vdots \\ V_{EH,12} \end{pmatrix} \quad (5).$$

[0036] Für die Matrixeinträge c_n gilt $c_n = \frac{C_n}{C_{tot}}$, wobei C_n die Kapazität des Plattenkondensators n und C_{tot} die Gesamtkapazität aller 14 Kondensatoren darstellen.

[0037] Die Beziehungen der Gleichungen (3) und (4) kann nur für solche der Kondensatoren erfüllt werden, die mit viel UV-Licht bestrahlt werden. Beziehung (5) zeigt, dass die Beziehung (3) und (4) nicht für alle 14 Kondensatoren erfüllt werden können. Für jede Kondensatorfläche gibt es einen Beleuchtungskoeffizient, der den Anteil an UV-Licht ausdrückt, der von einer bestimmten UV-Lampe auf die entsprechende Fläche trifft. Die Beleuchtungskoeffizienten für alle Flächen sind a priori bekannt. Die Kenntnis ist mit einer Unsicherheit verbunden. Es werden deshalb konstante Spannungen $V_{DC,i}$ auf die Stellelektroden jener Kondensatoren aufgebracht, die mit wenig UV-Licht bestrahlt werden, so dass die Gleichungen (3) bzw. (4) für solche Kondensatoren, die mit viel UV-Licht bestrahlt werden, erfüllt ist. Dies führt dazu, dass die Beziehungen (3) bzw. (4) für Kondensatoren, die mit wenig UV-Licht bestrahlt werden, nicht erfüllt sind bzw. sogar ein falsches Vorzeichen der Entladerate $\dot{Q}_{TM}^{nom}$ erreicht wird. Dieser Umstand ist jedoch unkritisch, da ohnehin keine oder sehr wenig Elektronen aus den entsprechenden Flächen emittiert werden, da wenig bzw. kein UV-Licht auf diese Flächen auftrifft.

2. Korrekturmaßnahmen zur besseren Bestimmung der Entladerate

[0038] Das Potential der Testmasse V_{TM} kann wie folgt berechnet werden:

$$V_{TM} = \frac{Q_{TM} + \sum_{n=1}^{12} C_n \cdot V_{EH,n} + C_{inj} \cdot V_{EH,13}}{C_{tot}} \quad (6).$$

[0039] In dieser Gleichung entspricht C_{tot} der Gesamtkapazität, d.h. der Summe aller Kapazitäten der 14 Plattenkondensatoren, $V_{EH,13}$ ist die Spannung, die an den Injektionselektroden anliegt und C_{inj} die Kapazität der Injektionselektroden. $V_{EH,1...12}$ sind die Potentiale der Stellelektroden. $V_{EH,14}$ entspricht dem Potential des Elektrodengehäuses G .

[0040] Die hochfrequente Spannung $V_{EH,13}$ bewirkt, dass die Entladerate trotz an den Stellelektroden anliegender konstanter Spannungen $V_{DC,i}$ sich nicht immer im Bereich der maximalen Entladungsrate und damit jenseits der Schwellwerte V_T befindet, da sich die Potentialdifferenz $V_n = V_{EH,n} - V_{TM}$ während einer Periode der hochfrequenten Wechselspannung $V_{EH,13}$ nicht mehr andauernd jenseits der jeweiligen Schwellwerte befindet. Dies ist in Fig. 6 dargestellt.

[0041] Die mittlere Entladerate, welche durch Mittelung über die Periodendauer der hochfrequenten Wechselspannung

$V_{EH,13}$ errechnet wird, wird unter Berücksichtigung der störenden Einflüsse aufgrund der Injektionsspannung für Messzwecke bestimmt. Dies bedeutet, die Änderung des Testmassenpotentials V_{TM} aufgrund der hochfrequenten Injektionsspannung und damit der jeweiligen Potentialdifferenzen V_n wird bei der Berechnung der Entladerate $\dot{Q}_{TM}^{nom}$ berücksichtigt. Dies ergibt eine berechnete Entladerate $\dot{Q}_{TM}^{nom}$, die der wirklichen, sog. abgeleiteten, Entladerate $\dot{Q}_{TM}^{real}$ besser entspricht.

[0042] Die Entladerate unter Berücksichtigung der hochfrequenten Wechselspannung berechnet sich durch:

1. Integration der Funktion, die die Entladerate in Abhängigkeit der sich ändernden Potentialdifferenzen darstellt (vgl. Fig. 6). Das Integrationsintervall entspricht einer Periode der hochfrequenten Wechselspannung (Injektionsspannung).
2. Dividieren des Integrationsergebnisses durch die Periodendauer der hochfrequenten Wechselspannung $V_{EH,13}$.

[0043] Die Abhängigkeit der sich ändernden Potentialdifferenz V_n für einen Plattenkondensator von der hochfrequenten Wechselspannung $V_{EH,13}$ wird ersichtlich aus $V_n = V_{EH} - V_{TM}$ und Beziehung (6). Die sich ändernden Potentialdifferenzen V_n sind in Abhängigkeit der hochfrequenten Injektionsspannung in Gleichung (7) für alle Plattenkondensatoren dargestellt:

$$\begin{aligned} V_1 &= V_{EH,1} - \frac{C_{inj}}{C_{tot}} V_{EH,13} \\ &\vdots \\ V_{12} &= V_{EH,12} - \frac{C_{inj}}{C_{tot}} V_{EH,13} \\ V_{13} &= \left(1 - \frac{C_{inj}}{C_{tot}} \right) V_{EH,13} \\ V_{14} &= - \frac{C_{inj}}{C_{tot}} V_{EH,13} \end{aligned} \quad (7).$$

[0044] In Gleichung (7) sind bei der Berechnung des Testmassenpotentials V_{TM} die Testmassen-Ladung Q_{TM} und die mit $\frac{C_n}{C_{tot}}$ gewichteten Potentiale der Stellelektroden vernachlässigt.

[0045] Fig. 6 illustriert die sich ändernde Entladerate für einen Plattenkondensator in Abhängigkeit von der sich ändernden Potentialdifferenz V_n . Mit P1 ist ein Punkt der Kennlinie gekennzeichnet, der eine vorhandene Entladerate zu einem bestimmten Zeitpunkt angibt, wenn die Injektionsspannung für Messzwecke eingeschaltet ist. Mit P2 ist ein Punkt der Kennlinie bezeichnet, der eine gewünschte Entladerate darstellt, bei welcher keine Injektionsspannung für Messzwecke angelegt ist. Ferner ist mit K1 eine Injektionsspannung $V_{EH,13}$ für Messzwecke eingezeichnet.

3. Adaption der Entladerate mit Hilfe von zwei aufeinander folgenden Ladungsmessungen

[0046] Die nominelle, vorberechnete Entladerate $\dot{Q}_{TM}^{nom}$ unterscheidet sich von der wirklichen, abgeleiteten Entladerate $\dot{Q}_{TM}^{real}$ aufgrund der Unsicherheit der Kenntnis der UV-Lampen und der Unsicherheit in der Kenntnis der Beleuchtungskoeffizienten für die einzelnen Flächen. Aus diesem Grund wird folgende Vorgehensweise angeordnet: Es wird zunächst die vorberechnete Entladerate $\dot{Q}_{TM}^{nom}$ während des Betriebs mit Hilfe von aufeinander folgenden Schätzwerten der Testmassenladung verbessert. Anschließend wird die Berechnungsvorschrift für die Entladungszeit bei maximaler Entladerate unter Berücksichtigung der verbesserten maximalen Entladerate adaptiert.

[0047] Zunächst wird die Verbesserung der Entladerate beschrieben: Nach dem ersten Mess- und Stellintervall wird die auf der Testmasse verbleibende Ladung erneut geschätzt, was in Fig. 7 illustriert ist. Hierbei ist mit T1 der Start des Entladevorgangs gekennzeichnet. T2 kennzeichnet den Zeitpunkt nach dem ersten Mess-Stellintervall. T3 entspricht der Testmassenladung $Q_{TM}(k+1)$ nach dem zweiten Messintervall. Der dann zur Verfügung stehende Schätzwert für die Testmassenladung wird als $Q_{TM}(k+1)$ bezeichnet.

[0048] Eine Abschätzung der wirklichen, abgeleiteten Entladerate $\dot{Q}_{TM}^{real}$ kann dann wie folgt berechnet werden:

$$\dot{Q}_{TM}^{real} = \frac{Q_{TM}(k+1) - Q_{TM}(k)}{t_{discharge}(k)} \quad (8).$$

[0049] Der Zusammenhang zwischen der vorberechnete, nominellen Entladerate $\dot{Q}_{TM}^{nom}$ und der wirklichen Entladerate $\dot{Q}_{TM}^{real}$ kann ausgedrückt werden als:

$$\dot{Q}_{TM}^{real} = k \cdot \dot{Q}_{TM}^{nom} \quad (9).$$

[0050] Aus den Gleichungen (8) und (9) ergibt sich für den Faktor k folgender Zusammenhang:

$$k = \frac{Q_{TM}(k+1) - Q_{TM}(k)}{t_{discharge}(k) \cdot \dot{Q}_{TM}^{nom}} \quad (10).$$

[0051] Anschließend erfolgt die Berechnung der Entladungszeit mit der adaptierten Entladerate: Für die Entladezeit des nächsten Entladeschrittes ergibt sich unter Berücksichtigung der adaptierten Entladerate „ $k \cdot \dot{Q}_{TM}^{nom}$ “ folgender Zusammenhang:

$$t_{discharge}(k+1) = \frac{Q_{TM}(k+1)}{k \cdot \dot{Q}_{TM}^{nom}} \quad (11).$$

[0052] Fig. 8 zeigt beispielhaft die erzielte Verbesserung bei der Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur schnellen Testmassenentladung. Der Startwert der simulierten Ladung auf der Testmasse beträgt in der Figur 1×10^8 Einheitsladungen. Der Zielwert für die schnelle Testmassenentladung liegt bei 10^6 Einheitsladungen. Eine Einheitsladung entspricht 1.602×10^{-19} Coulomb. Der Zielwert ist in der Figur mit ZW gekennzeichnet. Mit MI sind die Messintervalle gekennzeichnet, auf welchen die Testmassenladung einen plateauähnlichen Verlauf aufweist. Mit SI sind Stellintervalle gekennzeichnet, in denen eine Adaption der Testmassenladung erfolgt. Die in der Simulation eingestellten Unsicherheiten für die Entladeraten betragen 70%, d.h. die zunächst angenommene Entladerate $\dot{Q}_{TM}^{nom}$ zur Berechnung der Entladezeit $t_{discharge}$ nach Gleichung (1) ist mit einem entsprechenden Fehler behaftet. Es ist gut zu erkennen, dass sogar bei extrem großem Fehler nach einer Zeit von knapp 30000 s eine Konvergenz zum Zielwert ZW erfolgt.

[0053] Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass dieses an Bord des Satelliten durchgeführt werden kann.

[0054] Das Verfahren, das an Bord des Satelliten durchgeführt werden kann, wird nachfolgend anhand eines möglichen

Algorithmus weiter beschrieben. Hierin sind die meisten durchzuführenden Schritte, die kursiv wiedergegeben sind, mit Erläuterungen ergänzt.

[0055] Dem Algorithmus liegen folgende Annahmen zu Grunde:

- 5 - Bei den Berechnungen wird zwischen einer positiven und einer negativen Entladerate unterschieden. Positive bzw. negative Entladeraten werden je nach dem Ladungszustand der Testmasse benötigt. Dabei gilt: eine negativ geladene Testmasse benötigt eine positive Entladerate, eine positiv geladene Testmasse benötigt eine negative Entladerate.
- 10 - Bei der Berechnung des Adaptionfaktors wird unterschieden zwischen dem Adaptionfaktor für die positive Entladerate "*adaptationfactor_p*" und dem Adaptionfaktor für die negative Entladerate "*adaptationfactor_n*".
- Die konstanten Gleichspannungen zur Maximierung der Entladerate werden an den korrekten Elektroden angebracht.
- Es wird ein Schwellwert "*AdaptationThreshold*" definiert, der dafür sorgt, dass die Adaption nur durchgeführt wird, wenn sich die beiden letzten Ladungsschätzwerte hinreichend stark unterscheiden.
- 15 - Die UV Lampen haben eine minimale Anschaltzeit "*t_min*", d.h. sie müssen mindestens für die Dauer *t_min* eingeschaltet werden.

[0056] Der Algorithmus unterteilt sich in folgende Abschnitte:

- 20 (1) Sobald ein neuer Schätzwert Q_{TM} für die Testmassenladung vorhanden ist, werden folgende Aktionen beim ersten Abtastschritt des an Bord des Satelliten implementierten Verfahrens zur schnellen Entladung einer Testmasse einmalig durchgeführt:

- 25 a. Der geschätzte Wert für die Testmassenladung [Coulomb] wird in eine entsprechende Anzahl von Einheitsladungen transformiert und abgespeichert.

$$charge = QEstData/ELEMENTARY_CHARGE$$

- 30 b. Ein Zähler für die Anzahl der Schätzzyklen des gesamten Vorgangs zum schnellen Entladen der Testmasse wird um 1 erhöht (Startwert des Zählers ist 0).

$$35 \quad NumberOfEstimationCycles = NumberOfEstimationCycles + 1$$

- c. Erste Berechnung der benötigten Entladerate unter Berücksichtigung der geschätzten Ladung und der minimalen Anschaltzeit, die für die Operation der UV Lampen beachtet werden muss, wird durchgeführt.

$$40 \quad qdot_star = -charge / t_min$$

- 45 d. Abrufen der vorberechneten (nominellen) positiven bzw. negativen Entladeraten aus einem Speicher eines Bordcomputers. Die Entladeraten wurden unter Berücksichtigung maßgeblicher Störungen (z.B. Injektions-Bias für elektrostatisches Messen) berechnet. *qdot_max_pos*, *qdot_max_neg*

- e. Berechnung der wirklichen Entladerate wie folgt:
Die aktuelle Schätzung der Testmassenladung ist positiv (oder Null) und eine Adaption ist möglich (also mehr als eine Schätzung vorhanden und Differenz zwischen vorheriger und aktueller Schätzung groß genug): *WENN* *charge* ≥ 0 *UND* *NumberOfEstimationCycles* > 1 *UND* $|charge_old - charge| > AdaptationThreshold$,
50 Prüfe ob vorheriger Schätzwert für die Testmassenladung positiv war:

- WENN* *charge_old* > 0 ,
WENN *charge_old* $> charge$,
aktualisiere den Adaptionfaktor für die negative Entladerate:

55

$$\text{adaptationfactor}_n = (\text{charge} - \text{charge_old}) / (\text{t_disch_old} * \text{qdot_max_n});$$

WENN $\text{charge_old} \leq \text{charge}$

Keine Adaption; benutze die nominelle Entladerate. Grund hierfür ist, dass trotz des vorherigen Stellungsvorganges (durch Bestrahlen mit UV Licht und Anlegen konstanter Beschleunigungsspannungen an die Stellelektroden) die aktuell geschätzte Ladung positiv und größer als die vorherige (positive) Testmassenladung ist (z.B. wegen der Varianz des

Schätzalgorithmus bei kleinen Testmassenladungen)

$\text{adaptationfactor}_n = 1.0;$

Prüfe ob vorheriger Schätzwert für die Testmassenladung negativ oder Null war:

WENN $\text{charge_old} \leq 0$,

$$\text{adaptationfactor}_p = |\text{charge} - \text{charge_old}| / (\text{t_disch_old} * \text{qdot_max_p})$$

Die aktuelle Schätzung der Testmassenladung ist positiv (oder Null), aber keine Adaption ist möglich:

SONST

$\text{adaptationfactor}_n = 1$

Berechnung der Stellgrößen (kommandierte Entladerate und Entladedauer) für die Testmassenentladung (für den Fall einer geforderten negativen Entladerate, da aktuelle Schätzung der Testmassenladung positiv)

WENN $\text{qdot_star} < (\text{qdot_max_n} * \text{adaptationfactor}_n)$

Berechnung der maximalen negativen kommandierten Entladerate und der entsprechenden Entladezeit.

$$\text{t_disch} = - \text{charge} / (\text{qdot_max_n} * \text{adaptationfactor}_n)$$

$$\text{Qdot_cmd} = \text{qdot_max_n}$$

WENN $\text{qdot_star} \geq \text{qdot_max_n} * \text{adaptationfactor}_n$,

Berechnung der entsprechenden Entladerate wenn die minimale Entladezeit benötigt wird

$$\text{Qdot_cmd} = \text{qdot_star}$$

$$\text{t_disch} = \text{t_min}$$

Die aktuelle Schätzung der Testmassenladung ist negativ und eine Adaption ist möglich:

WENN $\text{Charge} < 0$ UND $\text{NumberOfEstimationCycles} > 1$ UND $|\text{charge_old} - \text{charge}| > \text{AdaptationThreshold}$,

Prüfe ob vorheriger Schätzwert für die Testmassenladung negativ war:

WENN $\text{charge_old} < 0$,

WENN $\text{charge_old} < \text{charge}$,

Aktualisiere den Adaptionsfaktor für die positive Entladerate:

$$\text{adaptationfactor}_p = (\text{charge} - \text{charge_old}) / (\text{t_disch_old} * \text{qdot_max}_p)$$

WENN $\text{charge_old} \geq \text{charge}$,

Keine Adaption; benutze nominelle Entladerate. Grund hierfür ist, dass trotz des vorherigen Stellungsvorganges (durch Bestrahlen mit UV Licht und Anlegen konstanter Beschleunigungsspannungen an die Stellelektroden) die aktuell geschätzte Ladung positiv und größer als die vorherige (positive) Testmassenladung ist (z.B. wegen der Varianz des Schätzalgorithmus bei kleinen Testmassenladungen)

$\text{adaptationfactor}_p = 1.0$

Prüfe ob vorheriger Schätzwert für die Testmassenladung positiv war:

WENN $\text{charge_old} \geq 0$,

$$\text{adaptationfactor}_n = - |\text{charge} - \text{charge_old}| / (\text{t_disch_old} * \text{qdot_max}_n)$$

Die aktuelle Schätzung der Testmassenladung ist negativ, aber keine Adaption ist möglich:

SONST

$\text{adaptationfactor}_p = 1$

Berechnung der Stellgrößen (kommandierte Entladerate und Dauer) für die Testmassenentladung (für den Fall einer geforderten positiven Entladerate, da aktuelle Schätzung der Testmassenladung negativ)

$$\text{WENN } \text{qdot_star} \geq \text{qdot_max}_p * \text{adaptationfactor}_p,$$

Berechnung der maximalen positiven kommandierten Entladerate und der entsprechenden Entladezeit.

$$\text{t_disch} = - \text{charge} / (\text{qdot_max}_p * \text{adaptationfactor}_p)$$

$$\text{Qdot_cmd} = \text{qdot_max}_p$$

WENN $\text{qdot_star} < \text{qdot_max}_p * \text{adaptationfactor}_p$,

Berechnung der entsprechenden Entladerate, wenn die minimale Entladezeit benötigt wird

$\text{Qdot_cmd} = \text{qdot_star}$

$\text{t_disch} = \text{t_min}$

(2) Folgende Aktionen werden bei jedem Abtastschritt des an Bord implementierten Verfahrens zur schnellen Entladung einer Testmasse durchgeführt:

- Speicherung der folgenden (aktuellen) Werte aus Schritt (1) auf dem Bordrechner Speichere die aktuell berechnete Entladezeit t_disch als t_disch_old Speichere die aktuelle Schätzung der Ladung charge als charge_old
- Berechne die konstanten Beschleunigungs-Spannungen
WENN $\text{charge} \geq 0$,
Die konstanten Beschleunigungs-Spannungen $\text{Vcmd_TM_DC}[i]$ sollen positiv sein und an den entsprechenden Elektroden (vernachlässigbare Beleuchtungskoeffizienten) angebracht werden

ODER WENN $charge < 0$,

Die konstanten Beschleunigungs-Spannungen $V_{cmd_TM_DC[i]}$ sollen negativ sein und an den entsprechenden Elektroden (vernachlässigbare Beleuchtungskoeffizienten) angebracht werden

- Erniedrige die berechnete Entladezeit um eine Abtastschrittweite "sampletime":

$$t_{disch} = t_{disch} - sampletime$$

- Wenn die berechnete Entladezeit abgelaufen ist, werden folgende Kommandos gesetzt:
WENN $t_{disch} < 0$

a. Kommando für die Entladerate wird zu 0 gesetzt: $Qdot_cmd=0$

b. Die konstanten Beschleunigungs-Spannungen werden zu 0 gesetzt: $V_{cmd_TM_DC[i]} = 0$

(3) Ein neue Schätzung der Testmassenladung wird durchgeführt.

WENN neue Schätzung $\leq$ definierter Zielwert:

Ziel erreicht, Vorgang zur schnellen Entladung beendet

WENN neue Schätzung $>$ definierter Zielwert:

Weiter mit Schritt (1)

Patentansprüche

1. Verfahren zum Entladen einer frei in einem Satelliten fliegenden Testmasse (TM) in einem diese umgebenden Elektrodengehäuse (G), wobei das Elektrodengehäuse (G):

- eine oder mehrere erste Elektroden (E) zum Aufbringen von elektrostatischen Kräften und/oder Momenten auf die Testmasse (TM) und zur elektrostatischen Messung der Position und/oder Lage der Testmasse (TM),
 - eine oder mehrere zweite Elektroden (E) zum Aufmodulieren von, insbesondere hochfrequenten, Wechselspannungen für Messzwecke auf die Testmasse (TM), und
 - ein oder mehrere Licht emittierende Elemente (L), welche die Testmasse (TM) und/oder das Elektrodengehäuse (G) und/oder die Elektroden (E), insbesondere mit ultraviolett Licht, bestrahlen zur Erzeugung eines photoelektrischen Effekts,
- aufweist, bei dem automatisch und iterativ
- eine Testmassenladung (Q_{TM}) der Testmasse (TM) bestimmt wird,
 - ein Stellvorgang zur Beseitigung der ermittelten Testmassenladung (Q_{TM}) vorgenommen wird,
- bis die Testmassenladung (Q_{TM}) einen definierten Zielwert (ZW) erreicht hat.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Testmassenladung (Q_{TM}) der Testmasse (TM) durch Zustands- oder Parameterschätzung bestimmt wird.

3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem nach Ermittlung der Testmassenladung (Q_{TM}) eine zur Entladung der Testmasse (TM) benötigte Entladezeit ($t_{discharge}$) ermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die Entladezeit ($t_{discharge}$) sich berechnet nach

$$t_{discharge} = - \frac{Q_{TM}(k)}{\dot{Q}_{TM}^{nom}},$$

wobei

$t_{discharge}$ die Entladezeit

$Q_{TM}(k)$ die Größe der Testmassenladung

Q_{TM}^{nom} die nominelle Entladerate

ist.

- 5 **5.** Verfahren nach Anspruch 4, bei dem zur Maximierung der nominellen Entladerate ($\dot{Q}_{TM_nom}$) an zumindest manche der ersten Elektroden (E) je eine konstante Spannung angelegt wird, so dass eine zwischen der jeweiligen Elektrode (EH,i) und der Testmasse (TM) ausgebildete Potentialdifferenz ($V_{EH,i}$; V_{TM}) betragsmäßig größer oder gleich einem vorgegebenen Potentialschwellwert (V_T) ist.
- 10 **6.** Verfahren nach Anspruch 5, bei dem die Testmasse (TM) und/oder das Elektrodengehäuse (G) und/oder die Elektroden (E) von den Licht emittierenden Elementen für eine minimale Zeitdauer (t_{min}) mit Licht bestrahlt werden, wobei diejenigen ersten Elektroden (E), an die eine konstante Spannung angelegt wird, von den Licht emittierenden Elementen mit im Vergleich zu anderen der ersten Elektroden (E) weniger UV-Licht bestrahlt werden.
- 15 **7.** Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, bei dem zur Bestimmung der nominellen Entladerate ($\dot{Q}_{TM_nom}$) das Potential (V_{TM}) der Testmasse (TM) ermittelt wird, wobei neben der Größe der Testmassenladung (Q_{TM}) und den Ladungen der zwischen den ersten Elektroden (E) und der Testmasse (TM) gebildeten Kondensatoren zusätzlich die an den zweiten Elektroden (E) anliegende Spannung sowie eine jeweilige Kapazität der zweiten Elektroden (E) berücksichtigt wird.
- 20 **8.** Verfahren nach Anspruch 7, bei dem für die Ermittlung der zwischen der jeweiligen Elektrode und der Testmasse (TM) ausgebildeten Potentialdifferenz eine Änderung des Testmassenpotentials aufgrund der an den zweiten Elektroden (E) anliegenden hochfrequenten Wechselspannung berücksichtigt wird, woraus eine abgeleitete Entladerate ($\dot{Q}_{TM_real}$) ermittelt wird.
- 25 **9.** Verfahren nach Anspruch 8, bei dem sich die abgeleitete Entladerate ($\dot{Q}_{TM_real}$) berechnet durch eine Integration der nominellen Entladerate ($\dot{Q}_{TM_nom}$) in Abhängigkeit der sich ändernden Potentialdifferenzen und der Periodendauer der hochfrequenten Wechselspannung, die an den zweiten Elektroden (E) anliegt.
- 30 **10.** Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, bei dem eine Adaption der abgeleiteten Entladerate ($\dot{Q}_{TM_real}$) mit Hilfe von zumindest zwei aufeinander folgend ermittelten Testmassenladungen erfolgt.
- 35 **11.** Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, bei dem aus der ermittelten Entladezeit ($t_{discharge}$) und der abgeleiteten Entladerate ($\dot{Q}_{TM_real}$) eine abgeleitete Entladezeit ($t_{discharge}$) ermittelt wird.
- 40 **12.** Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem eine Unterscheidung zwischen einer positiven und einer negativen Entladerate vorgenommen wird.
- 45 **13.** Computerprogrammprodukt, das maschinenlesbare Programmbefehle für eine Steuerungseinheit eines Datenträgers aufweist, die diese zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der vorherigen Ansprüche veranlassen.
- 50 **14.** Vorrichtung zum Entladen einer frei in einem Satelliten fliegenden Testmasse (TM) in einem diese umgebenden Elektrodengehäuse (G), wobei das von einem Vakuumbehälter umschlossene Elektrodengehäuse (G):
 - eine oder mehrere erste Elektroden (E) zum Aufbringen von elektrostatischen Kräften und/oder Momenten auf die Testmasse (TM),
 - eine oder mehrere zweite Elektroden (E) zum Aufmodulieren von, insbesondere hochfrequenten, Wechselspannungen für Messzwecke auf die Testmasse (TM), und
 - ein oder mehrere Licht emittierende Elemente (L), welche die Testmasse (TM) und/oder das Elektrodengehäuse (G) und/oder die Elektroden (E), insbesondere mit ultravioletttem Licht, bestrahlen zur Erzeugung eines photoelektrischen Effekts,

aufweist,

bei dem die Vorrichtung Mittel zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorherigen Ansprüche aufweist.

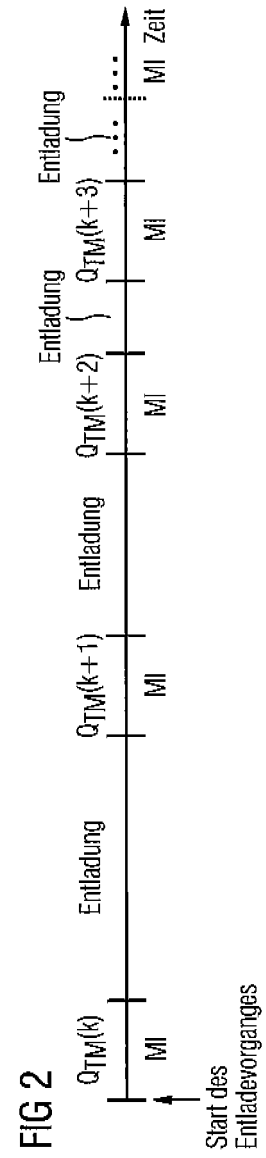
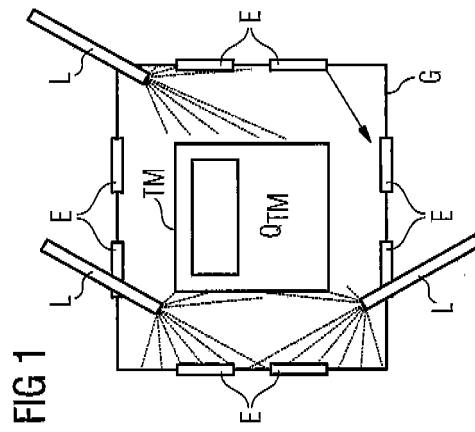


FIG 3

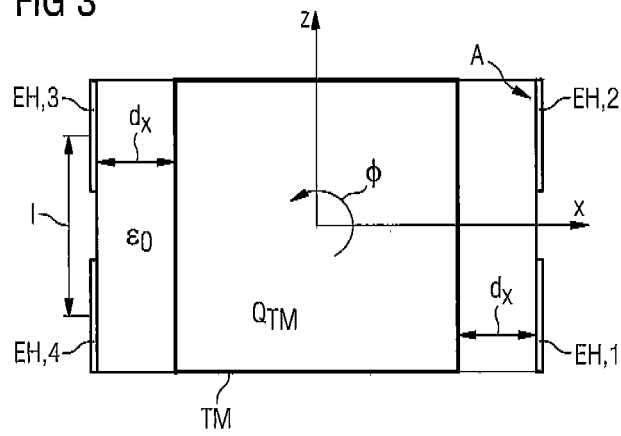
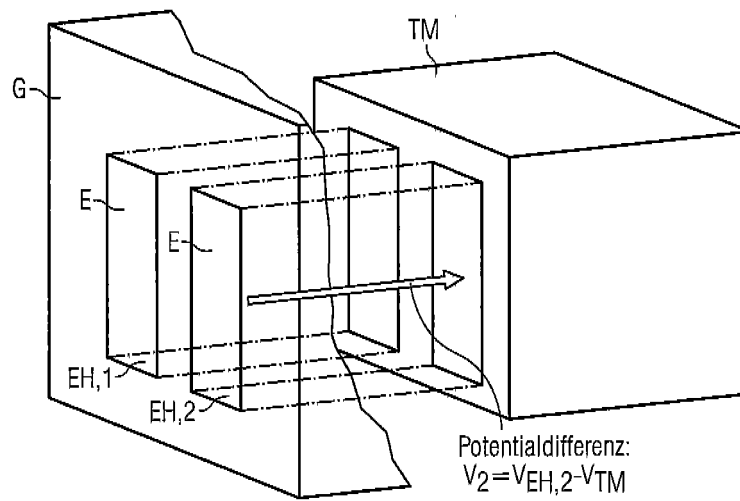


FIG 4



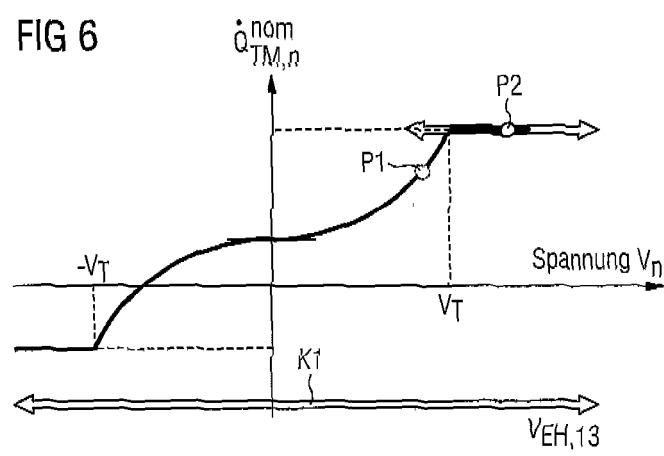
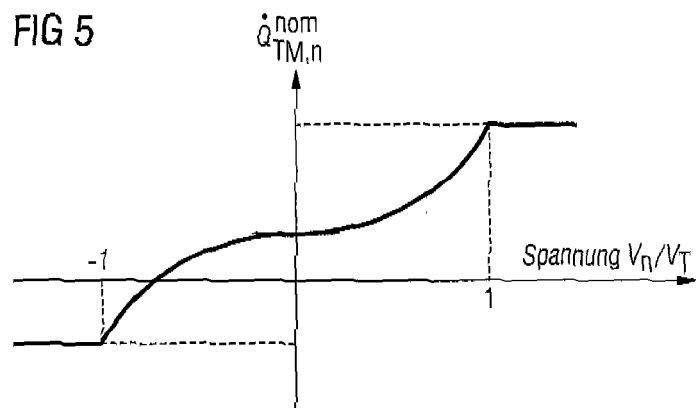


FIG 7

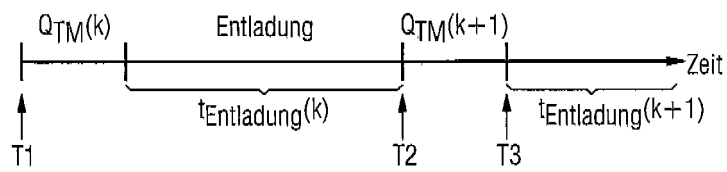
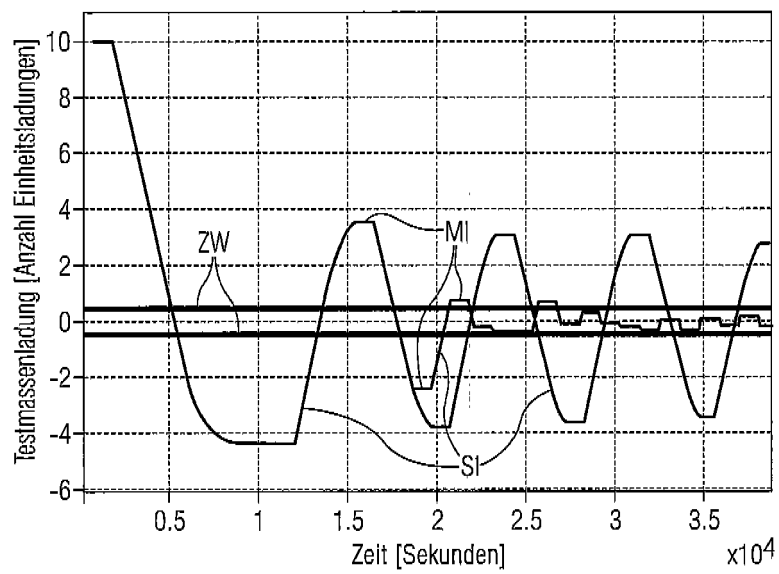


FIG 8





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 08 01 8109

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	R. GERNDT, W. FICHTER, N. BRANDT, D. GERARDI, F. MONTEMURRO, A. SCHLEICHER, T. ZIEGLER, AND U. JOHANN: "LISA Technology Package System Design And Operations" AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, LASER INTERFEROMETER SPACE ANTENNA: 6TH INTERNATIONAL LISA SYMPOSIUM, [Online] Bd. 873, 29. November 2006 (2006-11-29), Seiten 668-674, XP002516351 ISSN: 0094-243X Gefunden im Internet: URL: http://link.aip.org/link/?APCPCS/873/668/1 [gefunden am 2009-02-20] * Seite 672, letzter Absatz - Seite 674, Absatz 1 *	1-5, 12-14	INV. B64G1/22 B64G1/46 B64G1/66
A	S ANZA ET AL.: "The LTP experiment on the LISA Pathfinder mission" CLASSICAL AND QUANTUM GRAVITY, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, [Online] Bd. 22, 2005, Seiten S125-S138, XP002516352 Gefunden im Internet: URL: http://www.iop.org/EJ/abstract/0264-9381/22/10/001 [gefunden am 2009-02-20] * Seite S130 - Seite S132 *	1-14	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) B64G
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
1 Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 23. Februar 2009	Prüfer Weber, Carlos
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 08 01 8109

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	T. J. SUMNERA AND Y. JAFRY: "The radiation environment for the LISA and MiniSTEP missions and test mass charge control" ADVANCES IN SPACE RESEARCH, [Online] Bd. 25, Nr. 6, 2000, Seiten 1219-1223, XP002516353 Gefunden im Internet: URL: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V3S-3YKKG7-24&_user=987766&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_acct=C000049880&_version=1&_urlVersion=0&_userid=987766&md5=6ae4741ecb83c277a94b404aff28ca50 [gefunden am 2009-02-20] * Seite 1222 * -----	1-14	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 23. Februar 2009	
		Prüfer Weber, Carlos	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

 1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)